

### Laserbearbeitung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Adapter zum Koppeln einer Laserbearbeitungsvorrichtung mit einem zu bearbeitenden Objekt, wobei der Adapter eine Eingangsseite aufweist, die über einen Verschlußmechanismus gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung fixierbar ist, zur Ausrichtung des Objektes gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung am Objekt befestigbar ist, einen von der Laserbearbeitungsvorrichtung über einen gewissen Bereich gescannt an der Eingangsseite zugeführten Laserstrahl über einen Strahlengang zum Objekt leitet und eine Referenzstruktur, insbesondere für die Ausrichtung des Adapters aufweist. Die Erfindung bezieht sich weiter auf eine Laserbearbeitungsvorrichtung für einen solchen Adapter mit einer Strahlablenkungseinrichtung zum Scannen eines Laserstrahls.

Bei der Materialbearbeitung mittels Laserstrahlung wird meist ein Abrastern der zu bearbeitenden Gebiete des Objektes mit dem Laserstrahl eingesetzt. Die Genauigkeit der Positionierung des Laserstrahls bestimmt dabei in der Regel die bei der Bearbeitung erzielte Präzision. Wird der Laserstrahl in ein Bearbeitungsvolumen fokussiert, bedarf es einer exakten dreidimensionalen Positionierung. Für eine hochgenaue Bearbeitung ist es deshalb in der Regel unerlässlich, das Objekt in exakt definierter Lage zur Laserbearbeitungsvorrichtung zu halten. Für solche Anwendungen dient der eingangs genannte Adapter, da er das zu bearbeitende Objekt fixiert bzw. der verformbaren Oberfläche des zu bearbeitenden Objektes eine gewünschte Soll-Form verleiht.

Dies ist insbesondere bei der Mikrobearbeitung von Materialien notwendig, die nur eine geringe lineare optische Absorption im Spektralbereich der bearbeitenden Laserstrahlung aufweisen. Bei solchen Materialien werden üblicherweise nicht-lineare Wechselwirkungen zwischen Laserstrahlung und Material eingesetzt, meist in Form eines optischen Durchbruches, der im Fokus des Laserstrahls erzeugt wird. Da die bearbeitende Wirkung nur im Laserstrahlfokus stattfindet, ist es unerlässlich, den Fokuspunkt exakt dreidimensional auszurichten. Zusätzlich zu einer zweidimensionalen Ablenkung des Laserstrahls ist somit eine exakte Tiefenstellung der Fokuslage erforderlich. Der eingangs genannte Adapter erleichtert dies, da er konstante und

- 2 -

auch mit einer gewissen Genauigkeit bekannte optische Verhältnisse im Strahlengang zum Objekt sicherstellt bzw. bei an dem Objekt anliegendem Adapter bekannte optische Verhältnisse im Strahlengang insbesondere Brechungsverhältnisse vorliegen.

- 5 Eine typische Anwendung für einen solchen Adapter ist das als LASIK bekannte augenoptische Operationsverfahren, bei dem ein Laserstrahl auf einen Fokuspunkt in der Größenordnung eines Mikrometers in die Hornhaut fokussiert wird. Im Fokus entsteht dann ein Plasma, das eine lokale Trennung des Hornhautgewebes bewirkt. Durch geeignete Aneinanderreihung der auf diese Weise erzeugten lokalen Trennungszonen werden makroskopische Schnitte realisiert und
- 10 10 ein bestimmtes Hornhautteilvolumen isoliert. Durch Entnahme des Teilvolumens wird dann eine gewünschte Brechungsänderung der Hornhaut erreicht, so daß eine Fehlsichtigkeitskorrektur möglich ist.

Zur Ausführung des Verfahrens ist die exakte Positionierung des Laserstrahls unerlässlich. Dazu  
15 ist aus der US 6.373.571 eine mit Referenzmarken versehene Kontaktlinse bekannt, die einen Adapter der eingangs genannten Art realisiert. Diese Kontaktlinse wird mittels einer separaten Meßvorrichtung einjustiert, wodurch ein relativ aufwendiger Aufbau bedingt ist. Der erwähnte Adapter erfüllt zwei Funktionen: er stellt nicht nur die erforderlichen optischen Eigenschaften bei  
20 der Einbringung des Laserstrahls in die Hornhaut sicher, sondern er fixiert das Auge auch, vorzugsweise bezüglich mehrerer Freiheitsgrade, besonders bevorzugt bezüglich aller möglichen Freiheitsgrade. Bewegungen des Auges relativ zur Laserbearbeitungsvorrichtung werden damit verhindert.

Ein Beispiel für einen solchen Adapter ist beispielsweise in der WO 03/002008 A1 beschrieben.  
25 Der dort als „Planarisierungslinse“ bezeichnete Adapter weist einen Saugring auf, der mittels Unterdruck am Auge befestigt ist. In den Saugring ist eine Glasplatte eingelegt, die mittels einer Klammer in den Saugring gepreßt wird. Die Klammer befestigt dabei zugleich ein Flanschteil am Saugring, welches an der Laserbearbeitungsvorrichtung fest angebracht ist. Der mehrteilige Adapter der WO 03/002008 A1 preßt die Oberfläche der Augenhornhaut flach, wodurch  
30 einfache Standardgeometrien erreicht werden. Allerdings ist dies für den Patienten sehr unangenehm. Darüber hinaus ist eine Planarisierung der Augenhautoberfläche bei manchen chirurgischen Eingriffen unerwünscht.

Ein weiteres Beispiel für einen Adapter der genannten Art ist in der EP 1 159 986 A2 beschrieben. Er weist am Rand einer Halterung Strichmarken auf, die dem Chirurgen eine visuelle Ausrichtung ermöglichen. Die damit erzielte Genauigkeit reicht aber nicht immer aus.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen Adapter bzw. eine Laserbearbeitungsvorrichtung der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß eine hochgenaue Laserbearbeitung einfach möglich ist.

- 5 Diese Aufgabe wird mit einem Adapter zum Koppeln einer Laserbearbeitungsvorrichtung mit einem zu bearbeitenden Objekt, wobei der Adapter eine Eingangsseite aufweist, die über einen Verschlußmechanismus gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung fixierbar ist, zur Ausrichtung des Objektes gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung am Objekt befestigbar ist, einen von der Laserbearbeitungsvorrichtung über einen gewissen Bereich gescannt an der Eingangsseite zugeführten Laserstrahl über einen Strahlengang zum Objekt leitet und eine Referenzstruktur aufweist, gelöst, bei dem die Referenzstruktur im Strahlengang des Adapters liegt und mittels der über den Bereich gescannten Laserstrahlung optisch detektierbar ist. Vorzugsweise ist die Referenzstruktur für die Ausrichtung des Adapters lage-detektierbar.
- 10
- 15 Die Erfindung wird weiter mit einer Laserbearbeitungsvorrichtung für die Verwendung eines solchen Adapters, mit einer Strahlablenkungseinrichtung zum Scannen eines Laserstrahls gelöst, die aufweist eine Detektoreinrichtung zum optischen Detektieren der Referenzstruktur mittels des Laserstrahls und eine die Detektoreinrichtung auslesende Steuereinrichtung, welche die Strahlablenkungseinrichtung ansteuert, die Ist-Lage des Adapters anhand der optisch detektierten Referenzstruktur ermittelt und diese bei einer Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung berücksichtigt.
- 20

- 25 Die im Strahlengang des Adapters vorgesehene Referenzstruktur erlaubt es der Laserbearbeitungsvorrichtung, die Lage des Adapters und damit des Objektes exakt zu erfassen.

Die Funktion des erfindungsgemäßen Adapters erschöpft sich aber nicht darin, eine exakte Ausrichtung bzw. eine hochgenau bekannte Ausrichtung zu vermitteln. Die im Adapter vorgesehene, vom Laserstrahl abtastbare Laserbearbeitungsvorrichtung ermöglicht es auch, die Funktion der Laserbearbeitungsvorrichtung hinsichtlich der Laserstrahlablenkung auf einfachste Weise zu überprüfen. Dazu wird während des Betriebs der Laserbehandlungsvorrichtung ein Laserstrahl zur Kontrolle über die Referenzstruktur geführt, die Detektion der Referenzstruktur der entsprechenden Ansteuerung der Laserstrahlablenkung zugeordnet und aus der bekannten Lage der Referenzstruktur und der zugeordneten Ansteuerung der Laserstrahlablenkung eine eventuelle Abweichung zwischen Ansteuerung und tatsächlicher Laserstrahlablenkung ermittelt. Diese Differenz kann als Korrektur der Ablenkung des Laserstrahls im nachfolgenden Betrieb berücksichtigt werden. Optional oder zusätzlich

kann bei einem einen Grenzwert überschreitenden Korrekturbedarf der Betrieb der Laserbearbeitungsvorrichtung gesperrt werden.

Die dabei verwendete Laserstrahlung kann identisch mit der Bearbeitungslaserstrahlung sein;

5 dies muß aber nicht der Fall sein. Vorteilhafterweise wird die Laserbearbeitungsvorrichtung zum Scannen der Laserstrahlung die gleichen Strahlablenkungsmittel, z. B. Scaneinrichtung, einsetzen, die auch für die Bearbeitungslaserstrahlung verwendet werden, da nur dann die eingangs erwähnte Überprüfung der Strahlablenkung möglich ist. Das Gebiet, in dem die Referenzstruktur liegt, stellt also das potentielle Bearbeitungsgebiet dar.

10

Verwendet man dagegen für die Lageerfassung des Adapters mittels Detektion der Referenzstruktur eine eigenständige Laser- und Strahlablenkungseinrichtung, kann mitunter ein optisch einfacherer Aufbau erreicht werden.

15

Als Referenzstruktur ist jegliche Ausbildung des Adapters geeignet, die es ermöglicht die Lage des Adapters zu erfassen. Zweckmäßigerweise wird man räumliche Zonen gestalten, die sich mindestens hinsichtlich einer optischen Eigenschaft vom restlichen Strahlengang des Adapters unterscheiden. Bei dieser optischen Eigenschaft kann es sich beispielsweise um die Reflexionseigenschaft oder allgemeiner um den Brechungsindex der räumlichen Zone handeln.

20

Die Referenzstruktur kann dann beispielsweise Kontrollpunkte oder –striche aufweisen, wobei eine Rückreflexion, Streuung oder Absorption bzw. Dispersion der Strahlung eine räumliche Zone auszeichnen kann.

25

Für die die Referenzstruktur unterscheidenden optischen Eigenschaften kommt insbesondere ein Spektralbereich in Frage, der oberhalb UV-Absorptionsbanden optischer Materialien, d.h. oberhalb von 400 nm liegt. Eine mögliche obere Grenze ergibt sich aus der angestrebten Ortsauflösung und kann typischerweise bei 2 µm angegeben werden. Vorzugsweise wird für die optische Eigenschaft ein Spektralbereich zwischen 0,8 µm und 1,1 µm genutzt. Je nach Ortsauflösung können die Markierungsstrukturen Größenabmessungen zwischen 1 µm und 100 µm, vorzugsweise zwischen 3 µm und 10 µm haben.

30

Zum Weiterleiten der eingangsseitig zugeführten Strahlung zur Ausgangsseite kommen im Adapter grundsätzlich verschiedenste Mechanismen in Frage. Für augenoptische Verfahren wird man den Adapter zweckmäßigerweise in Art eines Kontaktglases ausbilden, so daß der Strahlengang zumindest teilweise ein für Bearbeitungslaserstrahlung transparentes Material, insbesondere Glas aufweist. In einer besonders zweckmäßigen Ausgestaltung weist der Adapter einen zylindrischen oder kegelstumpfartigen Körper auf, dessen eine Endfläche als Eingangsseite ausgebildet ist.

Zusätzlich kann der Adapter über eine Ausgangsseite verfügen, die einer verformbaren Oberfläche des Objektes eine gewünschte Soll-Form verleiht, z. B. durch Anlegen des Adapters an die verformbare Oberfläche.

5

Die Referenzstruktur kann, wie bereits erwähnt, die räumliche Ist-Lage des Adapters erfassen erlauben. Da der Adapter gleichzeitig fest am Objekt befestigt ist, gibt die Ist-Lage des Adapters auch Informationen über die Lage des Objektes zur Laserbearbeitungsvorrichtung. Es ist deshalb bevorzugt, daß die Referenzstruktur die räumliche Ist-Lage des Adapters wiederspiegelt. Durch optisches Detektieren der Referenzstruktur kann damit eine Aussage über die Orientierung des Objektes zur Laserbearbeitungsvorrichtung gewonnen werden, so daß die optischen Gegebenheiten der Einkopplung des Laserstrahls auf das Objekt bekannt sind und eine hochpräzise Laserbearbeitung möglich ist.

10

15 Die erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung für den erfindungsgemäßen Adapter ist in der Lage, mittels der Detektoreinrichtung die Referenzstruktur optisch zu detektieren und in der Steuereinrichtung die dadurch bekannte Ist-Lage des Adapters für die Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung zu berücksichtigen. Ist die Laserbearbeitungsvorrichtung für das LASIK-Verfahren ausgebildet, kann die Steuereinrichtung die identifizierte Ist-Lage bei der 20 Ansteuerung so berücksichtigen, daß die zu erzeugenden Durchbrüche an den gewünschten Stellen liegen.

Der Behandlungslaser wird dabei üblicherweise gepulst arbeiten. Es ist deshalb diesbezüglich eine Weiterbildung bevorzugt, bei der ein gepulster Behandlungslaser für ein 25 augenchirurgisches Verfahren verwendet ist, wobei das Objekt die Augenhornhaut ist und die Steuereinrichtung die Strahlablenkungseinrichtung und den Behandlungslaser so ansteuert, daß der Laserstrahl an vorbestimmten Stellen im Auge optische Durchbrüche erzeugt, und dabei die identifizierte Ist-Lage des Adapters bzw. die durch die Information identifizierte Soll-Form der Augenhornhaut berücksichtigt.

30

Wie bereits erwähnt, kann die Referenzstruktur des Adapters dazu dienen, die Funktion der Strahlablenkungseinrichtung, beispielsweise einer Scaneinrichtung oder einer Zoomeinrichtung, im Betrieb zu überprüfen. Es ist deshalb zweckmäßig, daß die Laserbearbeitungsvorrichtung intermittierend mittels der den Behandlungslaserstrahl ablenkenden 35 Strahlablenkungseinrichtung einen Laserstrahl, es kann sich dabei vorzugsweise auch um den Behandlungslaserstrahl handeln, auf die Referenzstruktur richtet, um die Funktion der Strahlablenkungseinrichtung zu überprüfen. Eine etwaige Differenz zwischen Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung und bekannter Ist-Lage der Referenzstruktur kann dann in den

weiteren Betrieb der Laserbearbeitungsvorrichtung eingehen. Überschreitet eine solche Differenz einen bestimmten Grenzwert, kann man den Bearbeitungsbetrieb sperren.

Es ist also ein Verfahren vorgesehen, bei dem die Detektion von Grenzflächen zwischen 5 Gebieten mit unterschiedlichem Brechungsindex erfolgt, deren Lage im Adapter bekannt ist und die sich in diesem mit der Laserbearbeitungsvorrichtung zumindest temporär fest verbundenen Bauteil befinden. Natürlich kann der Adapter auch dauerhaft und nicht nur vorübergehend angebracht sein. Bei einem dauerhaft befestigten Adapter kann die Erfassung der Referenzstruktur zur Überprüfung der Ist-Lage des Adapters auch nur während 10 Inspektionsarbeiten zu Servicezwecken ausgeführt werden. Das Verfahren umfaßt folgende Schritte:

1. Befestigung des Adapters an der Laserbearbeitungsvorrichtung.
- 15 2. Aufsuchen mindestens einer Reflektorzone 25, wobei unter Aufsuchen einer automatische Positionsbestimmung innerhalb eines durch die zu erwartende Lage der Reflektorzone 25 vorgegebenen räumlichen Suchgebietes zu verstehen ist. Die Positionsbestimmung erfolgt dadurch, daß eine (konfokale) Detektion der Reflektorzone 25 aus reflektiertem oder gestreutem Signal eines Lasers, vorzugsweise des Behandlungsstrahls 4 erfolgt, dessen Fokus 13 mittels räumlicher Verstellung 20 vermöge der Scaneinrichtung 6 und der Projektionsoptik 9 auf geeignet Weise dreidimensional durch das Suchgebiet bewegt wird.
- 25 3. Speichern der so bestimmten Position vorzugsweise für alle drei Raumrichtungen. Die Schritte 2 und 3 können für einige oder alle Reflektorzonen durchgeführt werden.
4. Berechnung der Abweichung als Differenz zwischen gemessenem Ort der Reflektorzone und Soll-Position.
- 30 5. Überprüfung der Abweichung auf zulässige Werte und gegebenenfalls Berücksichtigung bei der Ansteuerung der Strahlablenkung.

Der Erfindung liegt weiter die Aufgabe zugrunde, einen Adapter bzw. eine Laserbearbeitungsvorrichtung der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß nicht 35 zwingend mit einer planen Geometrie gearbeitet werden muß.

Die Aufgabe wird in einer Weiterbildung der Erfindung mit einem Adapter zum Koppeln einer Laserbearbeitungsvorrichtung mit einem zu bearbeitenden Objekt, das eine verformbare

Oberfläche aufweist, wobei der Adapter eine Eingangsseite aufweist, die über einen Verschlußmechanismus gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung fixierbar ist, eine Ausgangsseite aufweist, die an die verformbare Oberfläche anlegbar ist und dieser dabei eine gewünschte Soll-Form gibt, wobei der Adapter am Objekt befestigbar ist, einen von der 5 Laserbearbeitungsvorrichtung über einen gewissen Bereich gescannt an der Eingangsseite zugeführten Laserstrahl über einen Strahlengang zur an der Ausgangsseite anliegenden Oberfläche leitet, gelöst, indem der Adapter im Strahlengang Markierungsstrukturen aufweist, die mittels der über den Bereich gescannten Laserstrahlung optisch detektierbar sind und die eine den Adapter kennzeichnende Information codieren.

10

Die Aufgabe wird weiter mit einer Laserbearbeitungsvorrichtung für einen solchen Adapter, mit einer Strahlablenkungseinrichtung zum Scannen eines Laserstrahls gelöst, die aufweist eine Detektoreinrichtung zum optischen Detektieren der Markierungsstrukturen mittels des Laserstrahls und eine die Detektoreinrichtung auslesende Steuereinrichtung, welche die 15 Strahlablenkungseinrichtung ansteuert, die den Adapter kennzeichnende Information ermittelt und diese bei der Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung berücksichtigt. Die zuvor hinsichtlich der Justierung bzw. Lagebestimmung des Adapters eingesetzte Referenzstruktur ist also jetzt als Markierungsstruktur zur Informationscodierung ausgebildet. Natürlich ist auch eine Kombination möglich.

20

Der Adapter dient in der Regel dazu, um eingangsseitig eine feste Kopplung mit der Laserbearbeitungsvorrichtung herzustellen. Die zur Laserbearbeitungsvorrichtung orientierte Eingangsseite des Adapters ist deshalb mit geeigneten Mitteln zur festen Verbindung mit dem zum Objekt orientierten Ausgang (z.B. distalen Ende) der Laserbearbeitungsvorrichtung bzw. 25 deren optischen System ausgebildet, so daß eine auf die Laserbearbeitungsvorrichtung bezogen feste Fixierung mittels eines Verschlußmechanismusses möglich ist. Für den Verschlußmechanismus kommt dabei beispielsweise die Ausbildung einer Flanschfläche am Adapter in Frage.

30

Ausgangsseitig sorgt der Adapter dafür, daß die verformbare Oberfläche des Objektes eine gewünschte Soll-Form hat. Zur Befestigung des Adapters am Objekt sind geeignete Mittel vorgesehen; bei einer augenchirurgischen Anwendung kann eine Unterdruckbefestigungseinrichtung, z.B. ein Saugring, wie er aus der WO 03/002008 A1 oder aus der EP 1 159 986 A2 bekannt ist, zum Einsatz kommen.

35

Die im Strahlengang des Adapters vorgesehenen Markierungsstrukturen erlauben es der Laserbearbeitungsvorrichtung, Informationen über den verwendeten Adapter zu erhalten. Dabei kann es sich beispielsweise um eine Typnummer des Adapters, eine individuelle Bezeichnung

oder Informationen über die Soll-Form, die der Adapter der verformbaren Oberfläche gibt, handeln.

Um diese Information der Laserbearbeitungsvorrichtung unmittelbar bereitzustellen, sind die

5 Markierungsstrukturen im Strahlengang so angeordnet, daß sie mittels der gescannten Laserstrahlung optisch detektierbar sind. Separate Informationsübertragungsmechanismen können dadurch entfallen, statt dessen kann die Laserbearbeitungsvorrichtung mittels geeigneter Laserstrahlabtastung die Markierungsstrukturen detektieren und damit die den Adapter kennzeichnende Information extrahieren.

10

Der erfindungsgemäße Adapter sowie die erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung ermöglichen es, applikationsangepaßte Adaptoren zu verwenden, ohne dabei Gefahr zu laufen, irrtümlich mit nicht für den aktuellen Adapter passenden Betriebsparametern zu arbeiten. Eine mögliche Fehlerquelle ist damit ausgeschaltet und insgesamt die Laserbearbeitungsqualität

15

gesteigert.

Zweckmäßigerweise wird man bemüht sein, in der Laserbearbeitungsvorrichtung so wenig Laserstrahlquellen wie möglich einzusetzen, da zusätzliche Laserstrahlquellen üblicherweise mit weiteren Kosten verbunden sind. Man kann also daran denken, den vom Behandlungslaser

20

abgegebenen Laserstrahl auch gleich zum optischen Detektieren der Referenzstruktur zu verwenden. Dabei muß aber die Spitzenintensität und die mittlere Leistung verringert werden, um einerseits eine Belastung am zu bearbeitenden Objekt, d.h. am Auge des Patienten zu vermeiden, und um vor allem einen Bearbeitungseffekt am Adapter zu verhindern. Es ist deshalb zweckmäßigerweise in der Laserbearbeitungsvorrichtung eine Einrichtung zur Laserstrahlenergieminderung vorzusehen, die für die optische Detektion der Referenzstruktur die Energie des vom Behandlungslaser abgegebenen Laserstrahls zumindest zeitweise mindert. Für diesen Zweck kann beispielsweise ein Energieminderer in den Strahlengang geschaltet oder im Strahlengang aktiviert werden. Alternativ kann auch die Eigenschaft üblicher gepulster Laser ausgenutzt werden, zwischen den einzelnen Laserpulsen Hintergrundstrahlung

25

30 mit stark reduzierter Leistung abzugeben. Diese Hintergrundstrahlung kann für die Detektion der Referenzstruktur verwendet werden, und ein Energieminderer entfällt dann.

An welcher Stelle im Strahlengang die Referenzstruktur liegt, ist für den erfindungsgemäßen Adapter nicht ausschlaggebend; wesentlich ist lediglich, daß sie mittels von der

35

Laserbearbeitungsvorrichtung abgegebener gescannter Laserstrahlung abtastbar sind; sie befinden sich also innerhalb eines Raumgebietes, in welchem die Laserbearbeitungsvorrichtung den Fokus des Laserstrahls positionieren kann.

Die dabei verwendete Laserstrahlung kann identisch mit der Bearbeitungslaserstrahlung sein; dies muß aber nicht der Fall sein. Zweckmäßigerverweise wird jedoch die Laserbearbeitungsvorrichtung zum Scannen der Laserstrahlung die gleiche Scaneinrichtung einsetzen, die auch für die Bearbeitungslaserstrahlung verwendet wird. Das Gebiet, in dem die 5 Referenzstruktur dann liegt, stellt also das potentielle Bearbeitungsgebiet dar.

Als Markierungsstruktur ist jegliche Ausbildung des Adapters geeignet, die es ermöglicht Information innerhalb des Strahlengangs abrufbar zu hinterlegen. Hier eignet sich die bereits 10 genannte Gestaltung von räumlichen Zonen. Die Markierungsstrukturen können dann beispielsweise ähnlich einem Strichcode gestaltet werden, wobei eine Rückreflexion, Streuung oder Absorption bzw. Dispersion der Strahlung eine räumliche Zone auszeichnen kann.

Für die die Referenzstruktur unterscheidenden optischen Eigenschaften kommt insbesondere 15 ein Spektralbereich in Frage, der oberhalb UV-Absorptionsbanden optischer Materialien, d.h. oberhalb von 400 nm liegt. Eine mögliche obere Grenze ergibt sich aus der angestrebten Ortsauflösung und kann typischerweise bei 2 µm angegeben werden. Vorzugsweise wird für die optische Eigenschaft ein Spektralbereich zwischen 0,8 µm und 1,1 µm genutzt. Je nach 20 Ortsauflösung kann die Referenzstruktur Größenabmessungen zwischen 1 µm und 100 µm, vorzugsweise zwischen 3 µm und 10 µm haben.

20 Die durch die Markierungsstrukturen kodierte Information kann beliebige Merkmale des Adapters kennzeichnen, beispielsweise geometrische oder Material-Eigenschaften. Eine besonders bevorzugte Anwendung ist darin zu sehen, die Soll-Form, die durch die Ausgangsseite des Adapters festgelegt ist, zu beschreiben bzw. Informationen darüber zu 25 hinterlegen. Beispielsweise können die Markierungsstrukturen die Brechungseigenschaften der Soll-Form wiedergeben.

Eine zweckmäßige Anwendung für den Adapter ist, wie bereits erwähnt, die Ausbildung als 30 Kontaktglas für die Augenchirurgie. Es kann sich natürlich auch um ein spezielles Zubehör handeln, das das eigentliche Kontaktglas ersetzt oder zum Zwecke einer Messung vor der Behandlung am eigentlichen Kontaktglas befestigt wird.

35 Die erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung für den erfindungsgemäßen Adapter ist in einer Variante in der Lage, mittels der Detektoreinrichtung die Referenzstruktur optisch zu detektieren und in der Steuereinrichtung für die Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung zu berücksichtigen. Ist die Laserbearbeitungsvorrichtung für das LASIK-Verfahren ausgebildet, kann die Steuereinrichtung die durch die Information identifizierte Soll-Form bei der

Ansteuerung so berücksichtigen, daß die zu erzeugenden Durchbrüche auch an den gewünschten Stellen liegen.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung beispielhalber noch

5 näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Laserbearbeitungsvorrichtung für ein augen-chirurgisches Verfahren,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung der Augenhornhaut eines Patienten,
- 10 Fig. 3 eine perspektivische Darstellung eines Kontaktglases für die Laserbearbeitungs-vorrichtung der Figur 1,
- Fig. 4 eine Schnittdarstellung des Kontaktglases der Figur 3,
- Fig. 5 eine Draufsicht auf das Kontaktglas der Figur 3,
- 15 Fig. 6 eine schematische Darstellung der optischen Detektion einer Referenzstruktur des Kontaktglases,
- Fig. 7 eine perspektivische Darstellung eines Kontaktglases für die Laserbearbeitungs-vorrichtung der Figur 1,
- Fig. 8 eine Schnittdarstellung des Kontaktglases der Figur 7 und
- Fig. 9 eine Draufsicht auf das Kontaktglas der Figur 7.

20

Figur 1 zeigt ein Behandlungsgerät für ein augenchirurgisches Verfahren ähnlich dem in der EP 1159986 A1 bzw. der US 5549632 beschriebenen. Das Behandlungsgerät 1 der Figur 1 dient dazu, an einem Auge 2 eines Patienten eine Fehlsichtigkeitskorrektur gemäß dem bekannten LASIK-Verfahren auszuführen. Dazu weist das Behandlungsgerät 1 einen Laser 3 auf, der gepulste Laser-Strahlung abgibt. Die Pulsdauer liegt dabei z.B. im Femtosekundenbereich, und die Laserstrahlung wirkt mittels nichtlinearer optischer Effekte in der Hornhaut auf die eingangs beschriebene Art und Weise. Der vom Laser 3 entlang einer optischen Achse A1 abgegebene Behandlungsstrahl 4 fällt dabei auf einen Strahlteiler 5, der den Behandlungsstrahl 4 auf eine Scaneinrichtung 6 leitet. Die Scaneinrichtung 6 weist zwei Scanspiegel 7 und 8 auf, die um zueinander orthogonale Achsen drehbar sind, so daß die Scaneinrichtung 6 den Behandlungsstrahl 4 zweidimensional ablenkt. Eine verstellbare Projektionsoptik 9 fokussiert den Behandlungsstrahl 4 auf bzw. in das Auge 2. Die Projektionsoptik 9 weist dabei zwei Linsen 10 und 11 auf.

35 Der Linse 11 ist ein Kontaktglas 2 nachgeordnet, das über eine Halterung H fest mit der Linse 11 und damit dem Strahlengang des Behandlungsgerätes 1 verbunden ist. Das noch näher zu beschreibende Kontaktglas 12 liegt an der Hornhaut des Auges 2 an. Die optische Kombination aus Behandlungsgerät 1 mit daran befestigtem Kontaktglas 2 bewirkt, daß der

Behandlungsstrahl 4 in einem in der Hornhaut des Auges 2 gelegenen Fokus 13 gebündelt wird.

Die Scaneinrichtung 6 wird ebenso wie der Laser 3 und die Projektionsoptik 9 über (nicht näher bezeichnete) Steuerleitungen von einem Steuergerät 14 angesteuert. Das Steuergerät 14 bestimmt dabei die Lage des Fokus 13 sowohl quer zur optischen Achse A1 (durch die Scanspiegel 7 und 8) sowie in Richtung der optischen Achse A1 (durch die Projektionsoptik 9) vor.

Das Steuergerät 14 liest weiter einen Detektor 15 aus, der von der Hornhaut rückgestreute Strahlung, die den Strahlsteller 5 als Rückstrahlung 16 passiert, ausliest. Dazu kann eine konfokale Abbildung erfolgen. Auf die Bedeutung des Detektors 15 wird später noch eingegangen.

Das Kontaktglas 12 sorgt dabei dafür, daß die Hornhaut des Auges 2 eine gewünschte Soll-Form erhält. Das Auge 2 befindet sich aufgrund der Anlage der Hornhaut 17 am Kontaktglas 12 in vorbestimmter Lage zum Kontaktglas 12 und damit zum damit verbundenen Behandlungsgerät 1.

Dies ist schematisch in Figur 2 dargestellt, die einen Schnitt durch die Augenhornhaut 17 zeigt. Um eine exakte Positionierung des Fokus 13 in der Augenhornhaut 17 zu erreichen, muß die Krümmung der Augenhornhaut 17 berücksichtigt werden. Die Augenhornhaut 17 weist dabei eine Ist-Form 18 auf, die von Patient zu Patient unterschiedlich ist. Das Kontaktglas 12 liegt nun an der Augenhornhaut 17 derart an, daß es diese in eine gewünschte Soll-Form 19 verformt. Der genaue Verlauf der Soll-Form 19 hängt dabei von der Krümmung der dem Auge 2 zugewandten Fläche des Kontaktglases ab. Dies wird später noch anhand der Figur 4 deutlicher werden. Wesentlich ist hier lediglich, daß durch das Kontaktglas 12 bekannte geometrische und optische Verhältnisse für das Einbringen und Fokussieren des Behandlungsstrahls 4 in die Hornhaut 17 gegeben sind. Da die Hornhaut 17 am Kontaktglas 12 anliegt und dieses wiederum über die Halterung H gegenüber dem Strahlengang des Behandlungsgerätes 1 ortsfest ist, kann der Fokus 13 durch Ansteuerung der Scaneinrichtung 6 sowie der verstellbaren Projektionsoptik 9 dreidimensional exakt in der Hornhaut 17 positioniert werden.

Figur 3 zeigt eine perspektivische Darstellung des Kontaktglases 12. Wie zu sehen ist, weist das Kontaktglas 12 einen Glaskörper 20 auf, der für den Behandlungsstrahl 4 transparent ist. An einer Oberseite 21 des kegelstumpfartigen Glaskörpers 20 wird der Behandlungsstrahl 4 eingekoppelt; diese Oberseite 21 ist der Linse 11 zugeordnet.

An einer Unterseite 22 des Kontaktglasses 12 liegt die Hornhaut 17 an. Wie die Schnittdarstellung der Figur 4 zeigt, ist die Unterseite 22 in der gewünschten Soll-Form 19 gekrümmmt, so daß sie bei voller Kontaktierung des Auges 2 die gewünschte Form der Hornhaut 5 .17 bewirkt.

Nahe der Oberseite 21 ist am Kontaktglas 12 eine Flanschfläche 23 ausgebildet, an der das Kontaktglas 12 in der Halterung H durch Klemmen fixiert ist. Die Flanschfläche 23 stellt ein Befestigungsmittel dar, das auf die einen Verschlußmechanismus realisierende Halterung H 10 abgestimmt ist.

Die Hauptsymmetriearchse A2 des kegelstumpfförmigen Glaskörpers 20 wird durch Befestigung über die Flanschfläche 23 in fester Verbindung mit dem Behandlungsgerät 21 und passend zur optischen Achse A1 einjustiert. Im Inneren des Glaskörpers 20 ist eine Referenzstruktur 24, im 15 Ausführungsbeispiel ringförmig, gebildet. Der Abstand zur optischen Hauptachse A2 ist im Ausführungsbeispiel möglichst groß gewählt, so daß die Referenzstruktur 24 nur bei nahezu maximal ausgelenkten Behandlungsstrahl 4 im vom Behandlungsstrahl 4 durchstrahlten Volumen des Glaskörpers 20 liegt.

20 Wie die Figuren 4 und 3 zeigen, liegt die Referenzstruktur 24 im Volumen des Glaskörpers 20 vorzugsweise am Rand bzw. nahe des Randes des kegelstumpfartigen Glaskörpers 20. Die Referenzstruktur 24 besteht aus mehreren Reflektorzonen 25, die für die vom Laser 3 abgegebene Strahlung reflektierend sind.

25 Die Reflektorzone 25 kann auch auf der Oberseite 21 oder der Unterseite 22 des Kontaktglasses 12, d. h. auf der Eintritts- oder Austrittsfläche des Adapters in Form einer geeigneten Schichtstruktur oder geeigneter reflektierender oder nicht-reflektierende Schichten aufgebracht werden. Auch ist es möglich, Zonen oder Schichten mit erhöhter elastischer Lichtstreuung vorzusehen, um die Reflektorzonen 25 zu realisieren.

30 Fällt der Behandlungsstrahl 4 auf eine Reflektorzone 25, wird Strahlungsenergie zurückgestreut, die dann vom Detektor 15 aufgenommen wird. Anhand des Signals des Detektors 15 kann das Steuergerät 14 somit erkennen, ob der Behandlungsstrahl 4 auf eine Reflektorzone 25 gerichtet ist.

35 Wie in Figur 5 zu sehen ist, liegen die Reflektorzonen 25 ringförmig nahe des Randes der Unterseite 22. Die Unterseite 22 gibt zusammen mit der durch die Scaneinrichtung 6 möglichen Ablenkung die Größe und Lage des Bearbeitungsgebietes vor. Bei einer Fehlpositionierung des

Bearbeitungsgebietes auf der Augenhornhaut 17 kommt es zu einer Abweichung zwischen einem gewünschten und einem erzielten Refraktionsergebnis, so daß eine angestrebte Fehlsichtigkeitskorrektur mitunter nicht erreicht werden kann. Die Reflektorzonen 25 dienen dazu, die tatsächliche Strahlablenkung mit einem vorgegebenen Soll-Wert zu vergleichen und

5 dadurch Bearbeitungsfehler zu minimieren.

Abweichungen zwischen tatsächlicher Strahlposition und vorgegebener Soll-Lage auf der Augenhornhaut 17 können prinzipiell durch Bewegungen des Auges relativ zum Behandlungsgerät 1 oder durch eine Fehlpositionierung des Auges 2 gegenüber dem

10 Behandlungsgerät 1 oder durch eine Fehlpositionierung der Scanspiegel 7, 8 sowie der Projektionsoptik 9 hervorgerufen werden. Das Kontaktglas 12 bewirkt eine fixe Positionierung des Auges 2 gegenüber dem Behandlungsgerät 1, da die Augenhornhaut 17 über geeignete Mittel, beispielsweise einen (nicht näher dargestellten) Saugring, am Auge 2 fixiert wird. Die Reflektorzonen 25 dienen nun dazu, die Lage des Auges 2 gegenüber dem Behandlungsgerät

15 1 ermitteln zu können.

Das Steuergerät 14 steuert die Scaneinrichtung 6 sowie die Projektionsoptik 9 so an, daß ein Laserstrahl über die Reflektorzonen 25 geführt wird. Beispielsweise steuert das Steuergerät 14 den Laser 3 in einen Betriebsmodus, in dem nur ein Strahl 4 mit stark verringelter

20 Strahlungsintensität abgegeben wird. Dies kann beispielsweise durch Aktivieren oder Einschwenken eines geeigneten Strahlungsabschwächers erfolgen. Handelt es sich beim Laser 3 um eine gepulste Laserstrahlungsquelle kann auch eine außerhalb des Pulsbetriebes eventuell vorliegende, sehr viel schwächere Hintergrundstrahlung verwendet werden. Alternativ ist es möglich, einen zusätzlichen Laser einzukoppeln, beispielsweise über einen weiteren

25 Strahlteiler, der der Scaneinrichtung 3 vorgeordnet ist. Bei diesem Laserstrahl kann es sich also entweder um den gegebenenfalls geeignet abgeschwächten Behandlungsstrahl 4 oder um einen separaten Laserstrahl handeln, der vor der Scaneinrichtung 6 in den Strahlengang entlang der optischen Achse A1 eingekoppelt wird.

30 Trifft der Laserstrahl auf eine Reflektorzone 25, zeigt der Detektor 15 ein entsprechendes Signal an. Wird eine Reflektorzone 25 so detektiert, speichert das Steuergerät 14 die dabei gegebenen Einstellwerte für die Scaneinrichtung 6 sowie die Projektionsoptik 9 ab. Nach Abtasten von mindestens drei Reflektorzonen 25 ist damit eine vollständige Bestimmung der tatsächlichen Ist-Lage des Kontaktglases 12 und damit der Augenhornhaut 17 erreicht. Diese

35 Ist-Lage verwendet das Steuergerät 14, um in der nachfolgenden Behandlung mit dem Behandlungsstrahl 4 den Fokus 13 an gewünschten vorgegebenen Stellen in der Augenhornhaut 17 zu plazieren.

Durch die ringförmige Referenzstruktur 24 am Rande des Bearbeitungsgebietes ist eine ungestörte Behandlung im Zentrum der durch die Unterseite 22 umschriebenen Querschnittsfläche, durch die der Behandlungslaserstrahl 4 in die Augenhornhaut 17 eingekoppelt wird, möglich. Durch eine ausreichend große numerische Apertur der Behandlungsstrahlung ist der Einfluß der im Randbereich des Bearbeitungsgebietes liegenden Reflektorzonen 25 bei der Behandlung vernachlässigbar.

Die Lage der Reflektorzonen 25 am Rand der Unterseite 22 erlaubt es, im laufenden Betrieb die Funktion der Scaneinrichtung 6 sowie der Projektionsoptik 9 zu überprüfen. Dabei kann eine relative Abweichung zwischen gespeicherter Ist-Lage der Reflektorzonen 25 sowie bei einer erneuter Überprüfung zugeordneter Einstellungen der Scaneinrichtung 6 sowie Projektionsoptik 9 erfolgen, um im Betrieb auftretende Abweichungen auskorrigieren zu können oder gegebenenfalls den Betrieb des Behandlungsgerätes 1 zu sperren, falls eine zu große Abweichung vorliegt.

Den Vorgang der Detektion einer Reflektorzone 25 veranschaulicht Figur 6. Dort ist ein Signal S des optischen Detektors 15 als Kurve 26 eingetragen. Der Fokus 13 wird auf einer Bahn 27, die im Regelfall dreidimensional ausgebildet, in Figur 2 jedoch nur zweidimensional dargestellt ist, von einem Punkt A zu einem Punkt D geführt, der den Bereich, in dem eine Reflektorzone 25 erwartet wird, überdeckt. Während der Bewegung des Laserfokus 13 vom Punkt A liefert der Detektor 15 einen Ruhewert S0. Beim Erreichen des Punktes B ändert sich das Signal und steigt an, da ein Rückreflex an der Reflektorzone 25 eintritt. Die zugehörige Koordinate xB in x-Richtung (in Figur 6 ist das Signal S nur eindimensional bezüglich der x-Richtung eingetragen) kennzeichnet den Beginn der Reflektorzone 25 in x-Richtung.

Mit Erreichen des Punktes C sinkt das Signal wieder auf den Ruhewert S0, und die Koordinate xC bezeichnet das Ende der Reflektorzone in x-Richtung. Ist der Durchmesser des Fokus 13 klein gegen die Ausdehnung der Reflektorzone 25 und damit klein gegen die Entfernung BC, ist die in Figur 6 dargestellte deutliche Trennung der steigenden Flanke bei xB und der fallenden Flanke bei xC möglich. In diesem Fall kann die gewonnene Information über die Lage dieser Koordinaten bei der Bestimmung der Position der Reflektorzone 25 mit im Steuergerät 14 berücksichtigt werden, wenn die Reflektorzone 25 eine bekannte Form hat. Ist der Durchmesser des Laserfokus 13 dagegen gleich oder größer dem Abstand BC, lassen sich die Koordinaten xB und xC nicht unterscheiden, und das Zentrum der Reflektorzone 25 erscheint im Signal S.

Die in Figur 2 eindimensional geschilderte Ortsbestimmung durch optisches Abtasten erfolgt natürlich in drei Raumkoordinaten, so daß die Lage der Reflektorzone 25 insgesamt dreidimensional bestimmt wird.

Die Detektion der Reflektorzone 25 im Bearbeitungsgerät der Figur 1 kann vorzugsweise konfokal erfolgen, um eine möglichst hohe Auflösung entlang der optischen Achse A1 bzw. A2 (d. h. in Tiefenrichtung) zu erzielen.

5

Die Figuren 7 bis 9 zeigen einen Adapter, der wie der der Figuren 3 bis 5 als Kontaktglas 12 ausgebildet ist, sich jedoch hinsichtlich der Ausbildung der Referenzstruktur unterscheidet. Aufgrund der ansonsten gegebenen Übereinstimmungen wird auf die Beschreibung der Figuren 3 bis 5 verwiesen, und für gleiche Merkmale werden die gleichen Bezugszeichen verwendet.

10

Im Inneren des Glaskörpers 20 ist nun als Referenzstruktur eine Codestruktur 24', im Ausführungsbeispiel ringförmig, gebildet. Der Abstand zur optischen Hauptachse A2 ist im Ausführungsbeispiel möglichst groß gewählt, so daß die Codestruktur 24' nur bei nahezu maximal ausgelenkten Behandlungsstrahl 4 im vom Behandlungsstrahl 4 durchstrahlten Volumen des Glaskörpers 20 liegt.

15

Wie die Figuren 4 und 3 zeigen, liegt die Codestruktur 24' im Volumen des Glaskörpers vorzugsweise am Rand bzw. nahe des Randes des kegelstumpfartigen Glaskörpers 20. Die Codestruktur 24' besteht aus mehreren Reflektorzonen 25, die für die vom Laser 3 abgegebene Strahlung reflektierend sind. Fällt der Behandlungsstrahl 4 auf eine Reflektorzone 25, wird Strahlungsenergie zurückgestreut, die dann vom Detektor 15 aufgenommen wird.

20

Die Reflektorzone 25 kann auch auf der Oberseite 21 oder der Unterseite 22 des Kontaktglases 12, d. h. auf der Eintritts- oder Austrittsfläche des Adapters in Form einer geeigneten Schichtstruktur oder geeigneter reflektierender oder nicht-reflektierende Schichten aufgebracht werden. Auch ist es möglich, Zonen oder Schichten mit erhöhter elastischer Lichtstreuung vorzusehen, um die Reflektorzonen 25 zu realisieren.

25

Anhand des Signals des Detektors 15 kann das Steuergerät 14 somit erkennen, daß der Behandlungsstrahl 4 auf eine Reflektorzone 25 gerichtet ist. Die Abfolge der ringförmig angeordneten Reflektorzonen 25 in der Codestruktur 24' liefert damit insgesamt ein codiertes Signal, das im Ausführungsbeispiel die Krümmung der Unterseite 22 des Glaskörpers 20 und damit die Geometrie der Soll-Form 19 wiedergibt, die die Augenhornhaut 17 mit dem aufgelegten Kontaktglas 12 hat. Die Codestruktur 24' realisiert somit Markierungsstrukturen, die das Kontaktglas 12 identifizieren oder beschreiben.

Um diese prinzipiell bereits erläuterte Informationsextraktion durchzuführen, steuert das Steuergerät 14 zum einen den Laser 3 in einen Betriebsmodus, in dem nur ein Strahl 4 mit stark

vorringerter Strahlungsintensität abgegeben wird. Dies kann beispielsweise durch Aktivieren oder Einschwenken eines geeigneten Strahlungsabschwächers erfolgen. Handelt es sich beim Laser 3 um eine gepulste Laserstrahlungsquelle kann auch eine außerhalb des Pulsbetriebes eventuell vorliegende, sehr viel schwächere Hintergrundstrahlung verwendet werden.

5

Alternativ ist es möglich, einen zusätzlichen Laser einzukoppeln, beispielsweise über einen weiteren Strahlteiler, der der Scaneinrichtung 3 vorgeordnet ist. Bei diesem Laserstrahl kann es sich also entweder um den gegebenenfalls geeignet abgeschwächten Behandlungsstrahl 4 oder um einen separaten Laserstrahl handeln, der vor der Scaneinrichtung 6 in den 10 Strahlengang entlang der optischen Achse A1 eingekoppelt wird.

10

Um die Codestruktur 24' auszulesen, steuert das Steuergerät 14 die Projektionsoptik 9 sowie die Scaneinrichtung 6 derart an, daß der Fokus der Laserstrahlung über den Bereich geführt wird, in dem die Codestruktur 24' erwartet wird. Die Rückreflexe werden im Signal des 15 Detektors 15 erkannt, der aktuellen Fokuslage zugeordnet und mit Hilfe geeigneter Mittel, (beispielsweise geeigneter Verarbeitungselektronik und eines Speicherbausteins) hinsichtlich der codierten Information bewertet. Die Detektion der Reflektorzone 25 im Bearbeitungsgerät der Figur 1 kann vorzugsweise konfokal erfolgen, um eine möglichst hohe Auflösung entlang der optischen Achse A1 bzw. A2 (d. h. in Tiefenrichtung) zu erzielen.

20

Die derart gewonnene Information über den Adapter wird dann vom Steuergerät 14 bei der nachfolgenden Behandlung der Augenhornhaut 17 berücksichtigt. Beispielsweise wird die Steuerung des Fokus 13 mittels der Scaneinrichtung 6 und der Projektionsoptik 9 so bewirkt, daß die Soll-Form 19 des aktuell verwendeten Kontaktglasses 12 berücksichtigt wird. Alternativ 25 kann auch beim Scannen eines untauglichen Kontaktglasses das Behandlungsgerät 1 gesperrt werden, so daß keine Behandlung möglich ist. Zusätzlich oder alternativ kann eine entsprechende Information über das aktuell verwendete Kontaktglas mit geeigneten Mitteln ausgegeben werden.

30

Patentansprüche

1. Adapter zum Koppeln einer Laserbearbeitungsvorrichtung (1) mit einem zu bearbeitenden Objekt (2), wobei der Adapter (12)
  - eine Eingangsseite (21) aufweist, die über einen Verschlußmechanismus (H) gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung (1) fixierbar ist,
  - zur Ausrichtung des Objektes (2) gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung (1) am Objekt (2) befestigbar ist,
  - einen von der Laserbearbeitungsvorrichtung (1) über einen gewissen Bereich gescannt an der Eingangsseite (21) zugeführten Laserstrahl (4) über einen Strahlengang zum Objekt (2) leitet und
  - eine Referenzstruktur (24) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß
- 5 die Referenzstruktur (24) im Strahlengang des Adapters (12) liegt und mittels der über den Bereich gescannten Laserstrahlung (4) optisch detektierbar ist.
- 10 2. Adapter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstruktur (24) zur Überprüfung der Ausrichtung des Adapters (12) optisch lage-detektierbar ist.
- 15 20 3. Adapter nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstruktur (24) mindestens eine räumliche Zone (25) aufweist, die sich mindestens hinsichtlich einer optischen Eigenschaft vom restlichen Strahlengang des Adapters (12) unterscheidet.
- 25 4. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Ausgangsseite (22), die an der Eingangsseite (21) zugeführte Laserstrahlung (4) abgibt und an die eine verformbare Oberfläche (17) des Objektes (12) anlegbar ist und die dieser dabei eine gewünschte Soll-Form (19) gibt.

5. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstruktur (24) die räumliche Ist-Lage des Adapters (12) widerspiegelt.
6. Laserbearbeitungsvorrichtung für die Verwendung eines Adapters nach einem der obigen Ansprüche in Verbindung mit Anspruch 2, mit einer Strahlablenkungseinrichtung (6, 9) zum Scannen eines Laserstrahls (4) über den gewissen Bereich,  
gekennzeichnet durch
  - eine Detektoreinrichtung (5, 15) zum optischen Detektieren der Referenzstruktur (24) mittels des Laserstrahls (4) und
  - eine die Detektoreinrichtung (5, 15) auslesende Steuereinrichtung (14), welche die Strahlablenkungseinrichtung (6, 9) ansteuert, die Ist-Lage des Adapters (12) anhand der optisch detektierten Referenzstruktur (24) ermittelt und diese bei einer Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung (6, 9) berücksichtigt.
- 15 7. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung bei der Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung (6, 9) eine Differenz zwischen einer Soll-Lage und der Ist-Lage des Adapters (12) berücksichtigt.
8. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (14) eine Differenz zwischen einer Soll-Lage und der Ist-Lage des Adapters (12) ermittelt und den Bearbeitungsbetrieb sperrt, wenn die Differenz einen Grenzwert überschreitet.
- 25 9. Adapter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß er eine Ausgangsseite (22) aufweist, die an die verformbare Oberfläche (17) anlegbar ist und dieser dabei eine gewünschte Soll-Form (19) gibt, wobei der Adapter (12) am Objekt (2) befestigbar ist, und daß die Referenzstruktur als Markierungsstrukturen (25) ausgebildet sind, die eine den Adapter (12) kennzeichnende Information codieren.
- 30 10. Adapter nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstruktur räumliche Zonen (25) aufweist, die sich mindestens hinsichtlich einer optischen Eigenschaft vom restlichen Strahlengang des Adapters (12) unterscheiden.
- 35 11. Adapter nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Eigenschaft der Brechungsindex ist.

12. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlengang zumindest teilweise ein für Bearbeitungslaserstrahlung transparentes Material (20), insbesondere Glas, aufweist.

5 13. Adapter nach Anspruch 12, gekennzeichnet durch einen zylindrischen oder kegelstumpfartigen Körper, dessen eine Endfläche (22) als Ausgangsseite mit der gewünschten Soll-Form (19) der Oberfläche (17) ausgebildet ist.

10 14. Adapter nach Anspruch 12, gekennzeichnet durch einen zylindrischen oder kegelstumpfartigen Körper (20), dessen eine Endfläche (21) als Eingangsseite ausgebildet ist.

15 15. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Flansch (23) für den Verschlußmechanismus (H).

16. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Unterdruckbefestigungseinrichtung zum Befestigen am Objekt (2).

17. Adapter nach einem der obigen Ansprüche in Verbindung mit Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Information die durch die Ausgangsseite (22) festgelegte Soll-Form (19) kennzeichnet, insbesondere deren Brechungseigenschaften.

18. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er als Kontaktglas für die Augenchirurgie ausgebildet ist.

19. Laserbearbeitungsvorrichtung für einen Adapter nach einem der obigen Ansprüche in Verbindung mit Anspruch 9, mit

- einer Strahlablenkungseinrichtung (6, 9) zum Scannen eines Laserstrahls (4) über den gewissen Bereich,

gekennzeichnet durch

30 - eine Detektoreinrichtung (5, 15) zum optischen Detektieren der Markierungsstrukturen (25) mittels des Laserstrahls (4) und

- eine die Detektoreinrichtung (5, 15) auslesende Steuereinrichtung (14), welche die Strahlablenkungseinrichtung (6) ansteuert, die den Adapter (12) kennzeichnende Information ermittelt und diese bei der Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung (6, 9) berücksichtigt.

35

20. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 19, gekennzeichnet durch einen gepulsten Behandlungslaser (3) für ein augenchirurgisches Verfahren, bei dem das Objekt die Augenhornhaut (17) ist, wobei die Steuereinrichtung (14) die Strahlablenkungseinrichtung (6, 9)

- 20 -

und den Behandlungslaser (3) so ansteuert, daß der Laserstrahl (4) an vorbestimmten Stellen (13) im Auge (2) optische Durchbrüche erzeugt, und dabei die durch die Information identifizierte Soll-Form (19) der Oberfläche der Augenhornhaut (17) berücksichtigt.

5 21. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 9 oder 19, gekennzeichnet durch einen gepulsten Behandlungslaser (3) für ein augenchirurgisches Verfahren und eine Einrichtung zur Laserstrahlenenergieminderung, die zum optischen Detektieren der Referenzstruktur (25) die Energie des vom Behandlungslaser (3) abgegebenen Laserstrahls (4) zumindest zeitweise mindert.

10

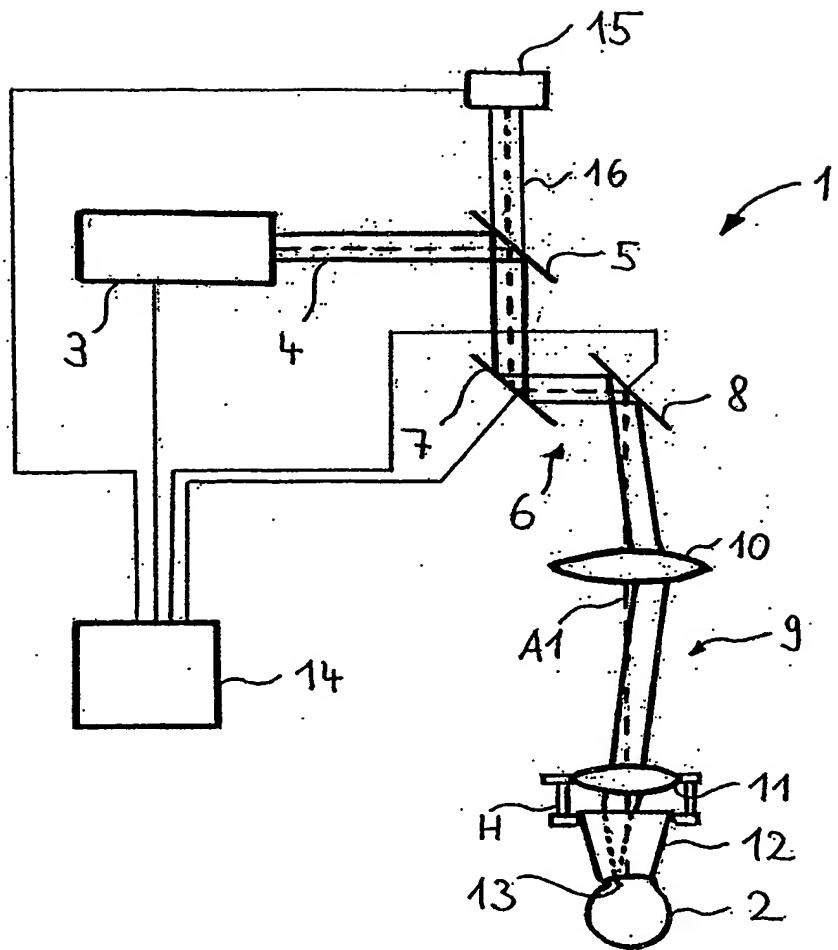


Fig. 1

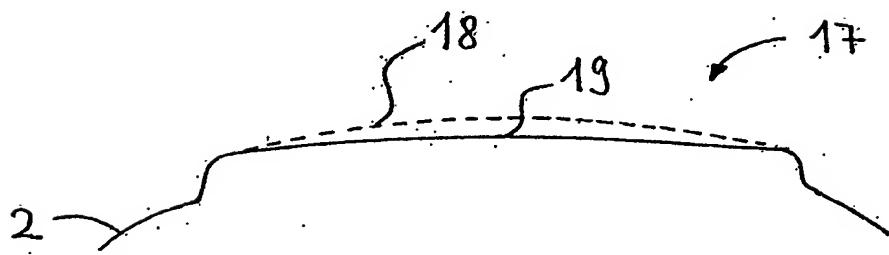


Fig. 2

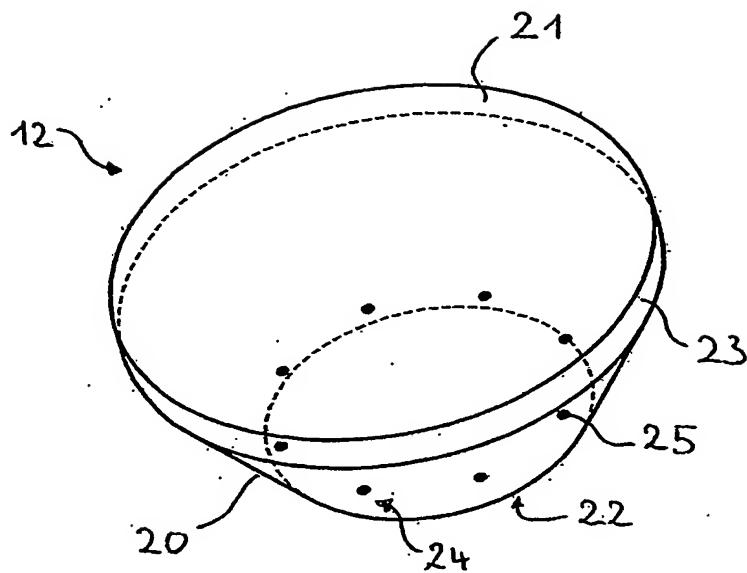


Fig. 3

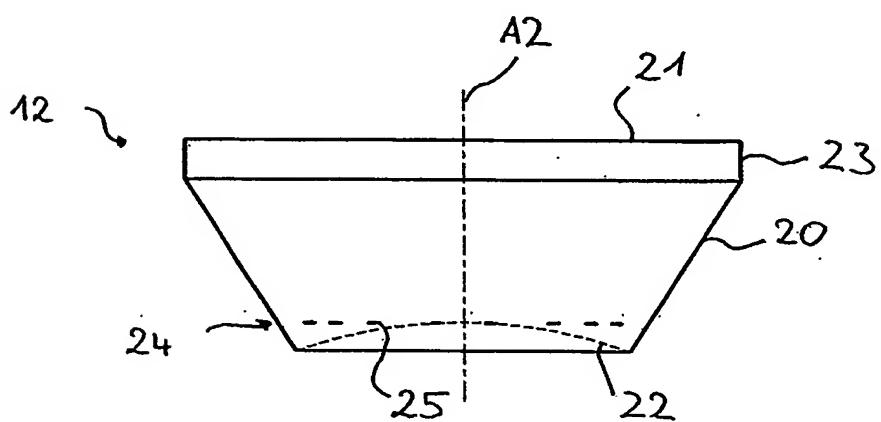


Fig. 4

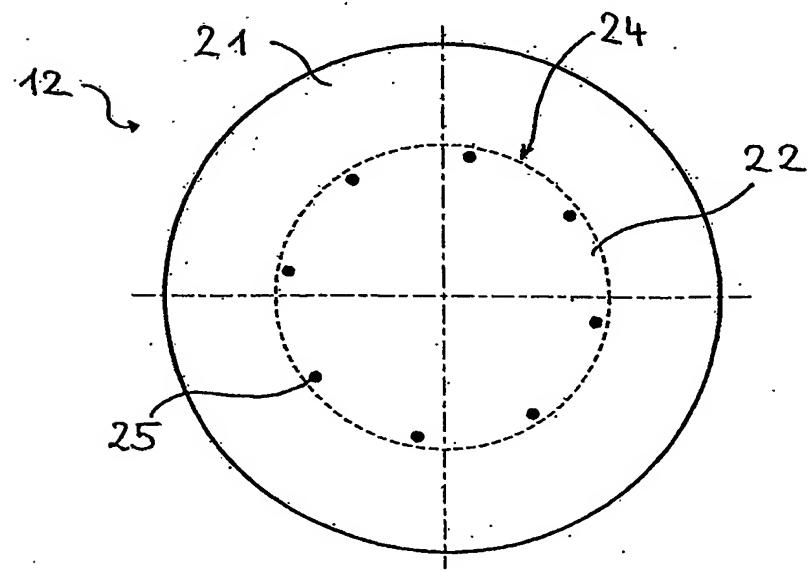


Fig. 5

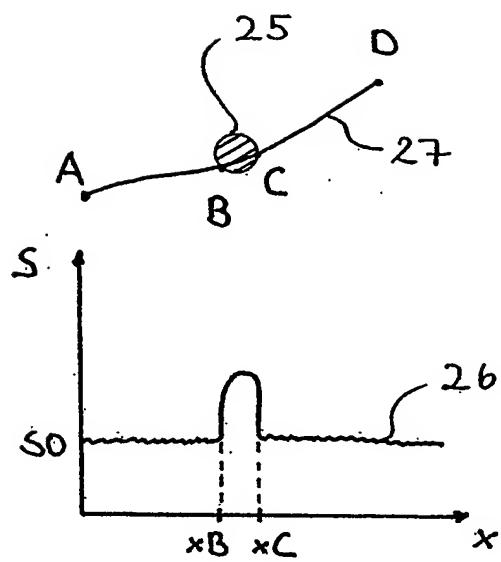


Fig. 6

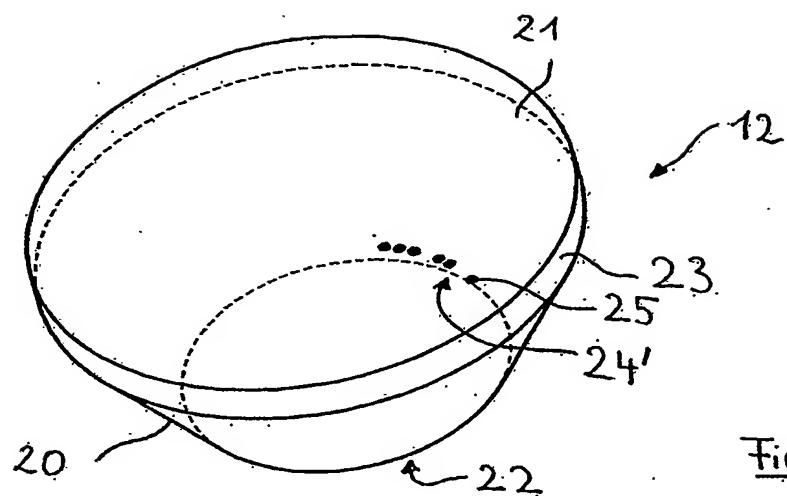


Fig. 7

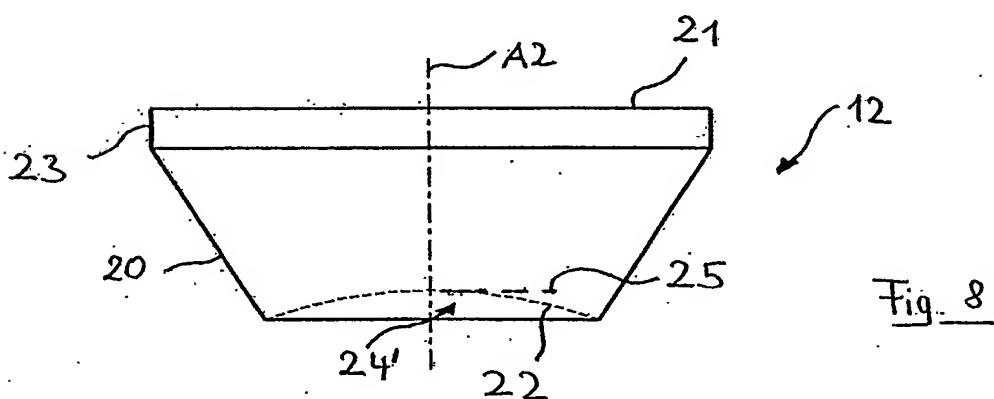


Fig. 8

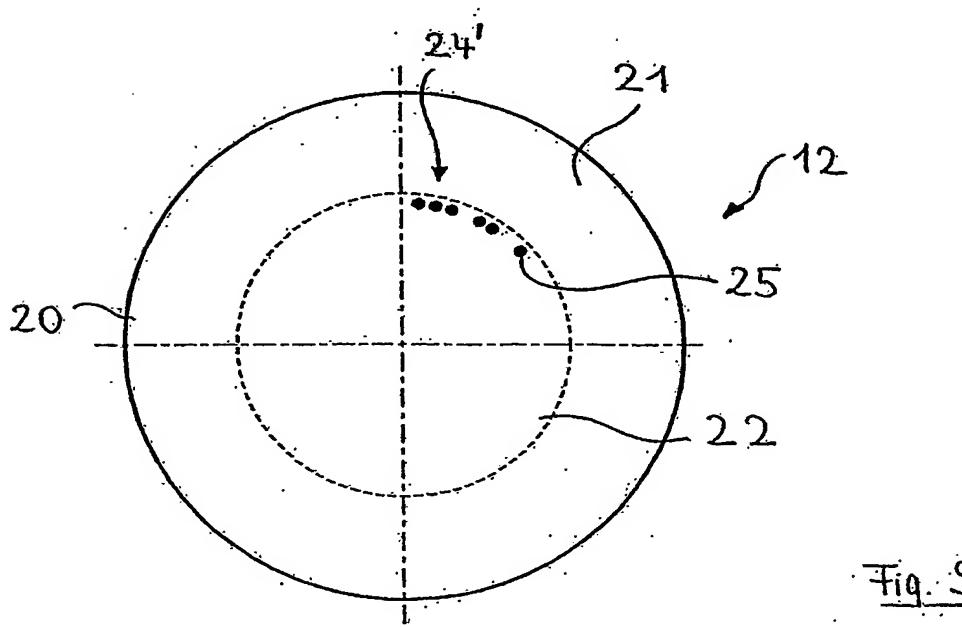


Fig. 9

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/011928

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 A61F9/009 B23K26/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 A61F B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|----------|---|-----------------------|
| X        | US 6 373 571 B1 (JUHASZ TIBOR ET AL)<br>16 April 2002 (2002-04-16)<br>cited in the application<br>column 2, line 31 - column 3, line 16<br>column 3, line 47 - column 4, line 37<br>column 5, line 22 - line 53; claims<br>1,2,5,8,10,12,13,16,18,19; figures 1-3 | 1-5,<br>12-15,18      |
| X        | WO 03/002008 A (INTRALASE CORP; SCHOLLER, GORDON, SCOTT; WEBB, R., KYLE)<br>9 January 2003 (2003-01-09)<br>cited in the application<br>paragraphs '0021!, '0022!, '0035! - '0045!, '0048! - '0058!, '0061!, '0062!, '0065! - '0068!; figures 1-10<br><br>-/--     | 1-5,<br>12-16,18      |

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 February 2005

Date of mailing of the international search report

17/02/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rick, K

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/011928

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|----------|---|-----------------------|
| X        | EP 1 159 986 A (LAI, SHUI, T)<br>5 December 2001 (2001-12-05)<br>cited in the application<br>column 18, line 15 - line 32<br>column 18, line 56 - column 19, line 28<br>column 20, line 25 - line 36<br>column 22, line 12 - column 25, line 9<br>column 35, line 57 - column 36, line 4<br>column 36, line 47 - column 37, line 16<br>column 48, line 22 - column 49, line 14;<br>claims 1-16; figures 1,4 | 6-8                   |
| A        | EP 0 608 052 A (INTELLIGENT SURGICAL<br>LASERS, INC) 27 July 1994 (1994-07-27)<br>column 2, line 41 - column 3, line 51<br>column 4, line 46 - column 5, line 6<br>column 5, line 56 - column 7, line 53;<br>figures 1-3  | 1-21                  |
| A        | US 5 645 550 A (HOHLA ET AL)<br>8 July 1997 (1997-07-08)<br>column 2, line 25 - line 37<br>column 3, line 3 - line 32<br>column 3, line 49 - line 63<br>column 5, line 47 - column 6, line 57<br>column 8, line 32 - column 10, line 11   | 1-21                  |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

|   |  |
|---|--|
| International Application No<br>PCT/EP2004/011928 |  |
|---|--|

| Patent document cited in search report |    | Publication date |  | Patent family member(s)  |  | Publication date   |
|--|----|------------------|--|--|--|--|
| US 6373571                             | B1 | 16-04-2002       | EP<br>JP   | 1034755 A1<br>2000262550 A   |  | 13-09-2000<br>26-09-2000   |
| WO 03002008                            | A  | 09-01-2003       | US<br>EP<br>JP<br>WO   | 2002103482 A1<br>1408842 A1<br>2004531344 T<br>03002008 A1   |  | 01-08-2002<br>21-04-2004<br>14-10-2004<br>09-01-2003   |
| EP 1159986                             | A  | 05-12-2001       | EP<br>AT<br>AU<br>AU<br>AU<br>AU<br>CA<br>DE<br>DE<br>EP<br>JP<br>JP<br>WO<br>US<br>US<br>US<br>US | 1159986 A2<br>218904 T<br>671607 B2<br>3069792 A<br>698453 B2<br>7416096 A<br>2123008 A1<br>69232640 D1<br>69232640 T2<br>0614388 A1<br>5508504 T<br>7503382 T<br>9308877 A1<br>6210401 B1<br>6325792 B1<br>2001010003 A1<br>2004199150 A1 |  | 05-12-2001<br>15-06-2002<br>05-09-1996<br>07-06-1993<br>29-10-1998<br>27-02-1997<br>13-05-1993<br>18-07-2002<br>06-02-2003<br>14-09-1994<br>25-11-1993<br>13-04-1995<br>13-05-1993<br>03-04-2001<br>04-12-2001<br>26-07-2001<br>07-10-2004 |
| EP 0608052                             | A  | 27-07-1994       | US<br>AU<br>AU<br>CA<br>EP<br>JP<br>JP   | 5336215 A<br>662704 B2<br>5318394 A<br>2112841 A1<br>0608052 A2<br>2975833 B2<br>6277248 A   |  | 09-08-1994<br>07-09-1995<br>28-07-1994<br>23-07-1994<br>27-07-1994<br>10-11-1999<br>04-10-1994   |
| US 5645550                             | A  | 08-07-1997       | AU<br>AU<br>AU<br>CA<br>WO<br>WO<br>EP<br>JP   | 2216095 A<br>697055 B2<br>2305395 A<br>2187373 A1<br>9527453 A1<br>9527454 A1<br>0754019 A1<br>10501707 T  |  | 30-10-1995<br>24-09-1998<br>30-10-1995<br>19-10-1995<br>19-10-1995<br>19-10-1995<br>22-01-1997<br>17-02-1998   |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/011928

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 A61F9/009 B23K26/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 A61F B23K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie <sup>a</sup> | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile  | Betr. Anspruch Nr. |
|------------------------|---|--------------------|
| X                      | US 6 373 571 B1 (JUHASZ TIBOR ET AL)<br>16. April 2002 (2002-04-16)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>Spalte 2, Zeile 31 – Spalte 3, Zeile 16<br>Spalte 3, Zeile 47 – Spalte 4, Zeile 37<br>Spalte 5, Zeile 22 – Zeile 53; Ansprüche<br>1,2,5,8,10,12,13,16,18,19; Abbildungen 1-3 | 1-5,<br>12-15,18   |
| X                      | WO 03/002008 A (INTRALASE CORP; SCHOLLER,<br>GORDON, SCOTT; WEBB, R., KYLE)<br>9. Januar 2003 (2003-01-09)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>Absätze '0021!, '0022!, '0035! – '0045!,<br>'0048! – '0058!, '0061!, '0062!, '0065!<br>– '0068!; Abbildungen 1-10                     | 1-5,<br>12-16,18   |

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- <sup>a</sup> Besonders Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchebericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- \*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- \*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

|   |   |
|---|---|
| Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche   | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts |
| 3. Februar 2005   | 17/02/2005  |
| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde<br>Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL – 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Bevollmächtigter Bediensteter<br>Rick, K            |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2004/011928

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile   | Beir. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| X          | EP 1 159 986 A (LAI, SHUI, T)<br>5. Dezember 2001 (2001-12-05)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>Spalte 18, Zeile 15 – Zeile 32<br>Spalte 18, Zeile 56 – Spalte 19, Zeile 28<br>Spalte 20, Zeile 25 – Zeile 36<br>Spalte 22, Zeile 12 – Spalte 25, Zeile 9<br>Spalte 35, Zeile 57 – Spalte 36, Zeile 4<br>Spalte 36, Zeile 47 – Spalte 37, Zeile 16<br>Spalte 48, Zeile 22 – Spalte 49, Zeile 14;<br>Ansprüche 1-16; Abbildungen 1,4<br>----- | 6-8                |
| A          | EP 0 608 052 A (INTELLIGENT SURGICAL<br>LASERS, INC) 27. Juli 1994 (1994-07-27)<br>Spalte 2, Zeile 41 – Spalte 3, Zeile 51<br>Spalte 4, Zeile 46 – Spalte 5, Zeile 6<br>Spalte 5, Zeile 56 – Spalte 7, Zeile 53;<br>Abbildungen 1-3<br>-----   | 1-21               |
| A          | US 5 645 550 A (HOHLA ET AL)<br>8. Juli 1997 (1997-07-08)<br>Spalte 2, Zeile 25 – Zeile 37<br>Spalte 3, Zeile 3 – Zeile 32<br>Spalte 3, Zeile 49 – Zeile 63<br>Spalte 5, Zeile 47 – Spalte 6, Zeile 57<br>Spalte 8, Zeile 32 – Spalte 10, Zeile 11<br>-----  | 1-21               |

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/011928

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument |    | Datum der Veröffentlichung |  | Mitglied(er) der Patentfamilie   |  | Datum der Veröffentlichung   |
|---|----|----------------------------|--|--|--|--|
| US 6373571                                      | B1 | 16-04-2002                 | EP<br>JP   | 1034755 A1<br>2000262550 A   |  | 13-09-2000<br>26-09-2000   |
| WO 03002008                                     | A  | 09-01-2003                 | US<br>EP<br>JP<br>WO   | 2002103482 A1<br>1408842 A1<br>2004531344 T<br>03002008 A1   |  | 01-08-2002<br>21-04-2004<br>14-10-2004<br>09-01-2003   |
| EP 1159986                                      | A  | 05-12-2001                 | EP<br>AT<br>AU<br>AU<br>AU<br>AU<br>CA<br>DE<br>DE<br>EP<br>JP<br>JP<br>WO<br>US<br>US<br>US<br>US | 1159986 A2<br>218904 T<br>671607 B2<br>3069792 A<br>698453 B2<br>7416096 A<br>2123008 A1<br>69232640 D1<br>69232640 T2<br>0614388 A1<br>5508504 T<br>7503382 T<br>9308877 A1<br>6210401 B1<br>6325792 B1<br>2001010003 A1<br>2004199150 A1 |  | 05-12-2001<br>15-06-2002<br>05-09-1996<br>07-06-1993<br>29-10-1998<br>27-02-1997<br>13-05-1993<br>18-07-2002<br>06-02-2003<br>14-09-1994<br>25-11-1993<br>13-04-1995<br>13-05-1993<br>03-04-2001<br>04-12-2001<br>26-07-2001<br>07-10-2004 |
| EP 0608052                                      | A  | 27-07-1994                 | US<br>AU<br>AU<br>CA<br>EP<br>JP<br>JP   | 5336215 A<br>662704 B2<br>5318394 A<br>2112841 A1<br>0608052 A2<br>2975833 B2<br>6277248 A   |  | 09-08-1994<br>07-09-1995<br>28-07-1994<br>23-07-1994<br>27-07-1994<br>10-11-1999<br>04-10-1994   |
| US 5645550                                      | A  | 08-07-1997                 | AU<br>AU<br>AU<br>CA<br>WO<br>WO<br>EP<br>JP   | 2216095 A<br>697055 B2<br>2305395 A<br>2187373 A1<br>9527453 A1<br>9527454 A1<br>0754019 A1<br>10501707 T  |  | 30-10-1995<br>24-09-1998<br>30-10-1995<br>19-10-1995<br>19-10-1995<br>19-10-1995<br>22-01-1997<br>17-02-1998   |